

ANALISIS *PUSHOVER* PADA BANGUNAN DENGAN *SOFT FIRST STORY*

Hizkia Yehezkiel Mamesah

Steenie E. Wallah, Reky Stenly Windah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

email: hizkiayehezkiel@gmail.com

ABSTRAK

Ketidakteraturan konfigurasi bangunan dalam perencanaan struktur tidak dapat dihindari, termasuk ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak yang terjadi pada lantai pertama bangunan. Melihat pengaruh desain tersebut terhadap gempa bumi, salah satu metode analisis yang digunakan adalah analisis Pushover. Analisis Pushover atau analisis beban dorong statik merupakan suatu analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa.

Penelitian dilakukan menggunakan program SAP2000 untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur. Melalui program SAP2000 dapat diketahui pula level kinerja struktur bangunan tersebut.

Tipe struktur bangunan yang dimodelkan berupa bangunan non soft story, soft first story 1 dan soft first story 2. Bangunan terbuat dari beton bertulang, jarak bentang 6 meter, dengan ketinggian 10 lantai, tinggi tiap lantai 4 meter, dengan variasi ketinggian lantai dasar 6 meter untuk soft first story 1 dan 7 meter untuk soft first story 2. Penelitian mengacu pada SNI 1726-2012, FEMA-356 dan ATC-40.

Kata kunci: analisis pushover, soft first story, level kinerja, keruntuhan, SAP2000

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Ketidakteraturan pada struktur dan konfigurasi bangunan seringkali tidak dapat dihindari. Salah satu ketidakaturan konfigurasi vertikal adalah *soft story*. Contohnya adalah bangunan tinggi yang bertipe gedung perkantoran, hotel atau apartemen yang pada umumnya mempunyai lobi lebih luas yang berada pada lantai dasar yang desain kolomnya lebih tinggi dibandingkan dengan lantai atasnya.

Mengingat Indonesia merupakan negara yang berada di jalur gempa pasifik (*Circum Pacific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga tingkat risiko terjadinya gempa bumi sangatlah tinggi. Dengan risiko terjadinya gempa yang sangat tinggi ini di wilayah Indonesia, maka sangat tinggi pula risiko kerusakan bangunan yang akan terjadi. Dalam konteksnya terhadap ruang lingkup kerja teknik sipil, kondisi tersebut berpengaruh besar dalam perencanaan desain struktur bangunan.

Dengan adanya gempa, karena kolom bawah pada bangunan *soft story* lebih lemah, maka keruntuhan terjadi pada kolom bawah. Ini dapat menyebabkan kerusakan parah pada struktur bangunan yang membuat bangunan runtuh atau terpaksa harus diruntuhkan karena tidak memungkinkan dilakukan perbaikan.

Dalam perencanaan bangunan sekarang ini sering digunakan perencanaan bangunan berbasis kinerja atau *performance based design*. Dalam perencanaan ini, kinerja bangunan terhadap gempa dan pola keruntuhannya dapat dinyatakan secara jelas dalam bentuk kurva. Untuk mengetahui perilaku keruntuhan pada bangunan maka digunakan analisis *pushover* atau analisis beban dorong statik.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas adalah untuk mengevaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan *soft first story* menggunakan analisis *pushover*.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

- Struktur gedung berfungsi sebagai kantor dengan ketinggian 10 lantai
- Struktur gedung merupakan gedung beton bertulang dengan lantai dasar bersifat *Soft Story*
- Perencanaan menggunakan analisis Statik Non-Linier *Pushover*
- Analisis perencanaan menggunakan program SAP2000v14.
- Digunakan ragam spektrum gempa wilayah 4 dengan tanah sedang pada Peta Gempa Indonesia sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 1726-2012.
- Perilaku struktur dievaluasi dalam 3 Dimensi (3D) dengan *open frame*.
- Menggunakan Perencanaan Tahan Gempa berbasis kinerja yang mengacu pada ATC-40.

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja bangunan *soft story* pada kondisi pasca elastik akibat beban gempa

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh beban gempa terhadap bangunan *soft story*.

LANDASAN TEORI

Ketidakberaturan Tingkat Lunak

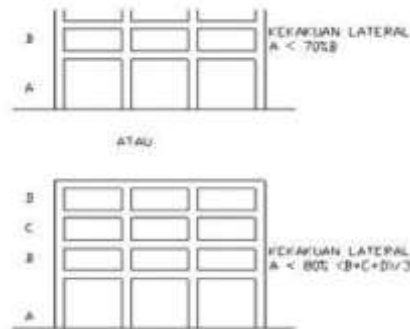
Salah satu ketidakberaturan secara vertikal adalah ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak. Jika kolom-kolom tingkat mempunyai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan di atasnya, dan gaya aksial yang dipikulnya besar, maka energi gempa akan diserap sebagian besar oleh kolom ini, akibatnya terjadilah tingkat lunak (*soft story*) dimana sendi-sendi plastis terjadi pada ujung-ujung kolom ini.

Didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Jika kekakuan tingkat lunak terjadi di dasar bangunan dinamakan *soft first story*.

Analisis Beban Dorong Statik (Pushover)

Analisis beban dorong statik (*Static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa

dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara barangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk *elasto-plastis* yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.



Gambar 1. Bangunan dengan lantai dasar yang memiliki kekakuan tingkat lunak

Analisis *Pushover* menghasilkan kurva *Pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D).



Gambar 2. Kurva Pushover

Kurva *Pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetilan atau stabilitasnya. Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang

ada misalnya hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik.

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t),

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \cdot g$$

dimana:

δ_t = target perpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai $C_1 = 1,0$ untuk $T_e \geq T_s$ dan

$$C_1 = \frac{[1+(R-1)\frac{T_s}{T_e}]}{R} \text{ untuk } T_e < T_s$$

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negatif,

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif.

R = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$

S_a = akselerasi respon spektrum yang bekesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arak yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh.

W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

g = percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/det}^2$.

Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Dalam analisis statik *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas kemudian diolah lebih lanjut dengan metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Metode ini telah *build-in* dalam program SAP 2000 yang akan digunakan.

Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). Hubungan tersebut dinamakan kurva kapasitas struktur.

Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respon *inelastic* bangunan. Kurva Kapasitas hasil *pushover* diubah menjadi kapasitas spektrum seperti pada gambar 3 melalui persamaan:

$$S_a = \frac{V}{\alpha 1}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1 \Phi_{roof, 1}}$$

$$PF = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g}}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right]^2}$$

$$\alpha 1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right]}$$

dimana:

S_a = *Spectral acceleration*

S_d = *Spectral displacement*

$PF1$ = *modal participation* untuk modal pertama

$\alpha 1$ = *modal mass coefficient* untuk modal pertama

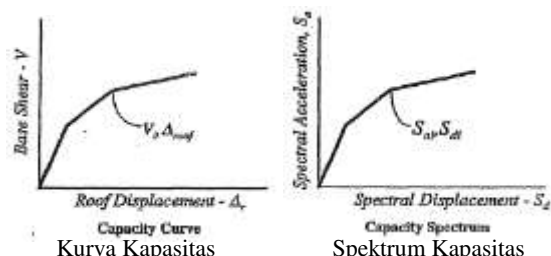
$\Phi i1$ = *amplitude of first* untuk level i

V = gaya geser dasar

W = berat mati bangunan ditambah beban atap

Δ_{roof} = *roof displacement*

wi/g = massa pada level i



Gambar 3. Modifikasi Kurva Kapasitas menjadi Spektrum Kapasitas

Batasan Simpangan Antar Lantai

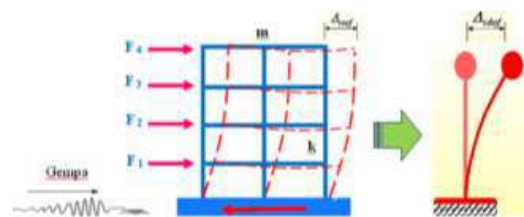
Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti yang diterangkan dalam SNI 1726-2012. Untuk semua tingkat ijin dimuat dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Simpangan antar lantai ijin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, lantai-lantai dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	$0,025 h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Analisis Respons Struktur

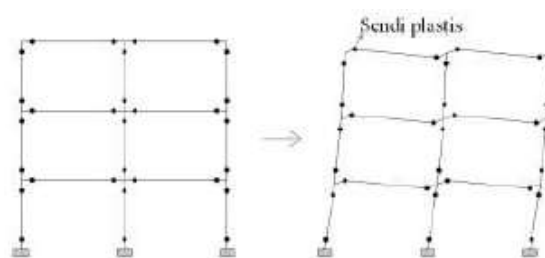
Struktur gedung saat menerima beban gempa, maka akan memikul *base shear*. *Base shear* tiap lantai merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser/*displacement* dari kedudukan semula. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan/kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku in-elastis jika sifat struktur cukup daktail, tetapi langsung hancur apabila kurang daktail.



Gambar 4. Respons Struktur

Mekanisme Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan/kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur. Dalam pembahasan ini menggunakan program SAP2000.



Gambar 5. Sendi Plastis terjadi pada balok dan kolom

Tabel 2. Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis dalam program SAP2000

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	●	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C	●	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D	●	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse
E	●	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

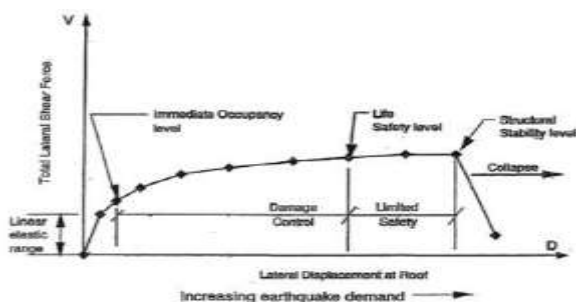
Kriteria Struktur Tahan Gempa

Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. *Trend* perencanaan yang terkini yaitu *performance based seismic design* (perencanaan tahan gempa berbasis kinerja). Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja ini merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap risiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan risiko biaya yang akan dikeluarkan.

Menurut ATC-40 yang menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

- SP-1 *Immediate Occupancy*
(Penggunaan Sedang)
- SP-2 *Damage Control*
(Kontrol Kerusakan)
- SP-3 *Life Safety*
(Aman untuk Dihuni)
- SP-4 *Limited Safety*
(Keamanan Terbatas)
- SP-5 *Structural Stability*
(Stabilitas Struktur)
- SP-6 *Not Considered*
(Tidak Diperhitungkan)



Gambar 6. Kurva Level Kinerja

METODOLOGI PENELITIAN

Analisis statik nonlinier *pushover* digunakan untuk mengevaluasi kinerja bangunan dengan *soft first story*. Analisis dilakukan dengan SAP2000v.14., dan mengacu pada SNI 03-1726-2012, Metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 dan Metode Spektrum Kapasitas ATC-40.

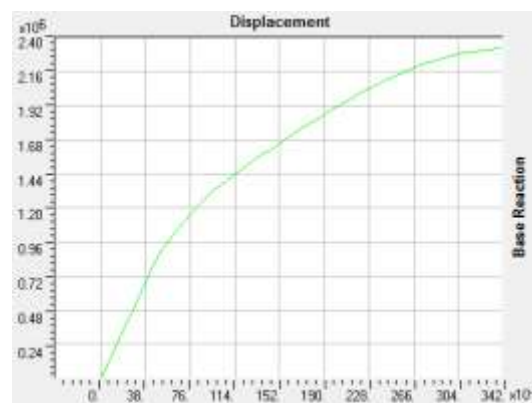
Perilaku model struktur bangunan dengan *soft story* dibandingkan dengan perilaku model struktur bangunan tanpa *soft story*.

Model struktur bangunan dibuat 10 lantai dan simetris terhadap arah x dan y. Masing-masing arah terdiri dari 5 bentang dengan jarak antar bentang 6 m. Terdapat 3 model struktur yang akan dievaluasi. Model pertama adalah bangunan tanpa *soft story*, dengan ketinggian antar tingkat seragam 4m. Model kedua adalah bangunan dengan *soft first story tipe 1*, dengan ketinggian lantai pertama 6m. Model ketiga adalah bangunan dengan *soft first story tipe 2*, dengan ketinggian tingkat lantai pertama 7m.

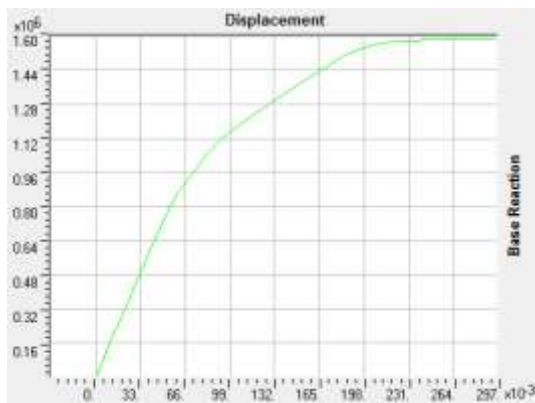
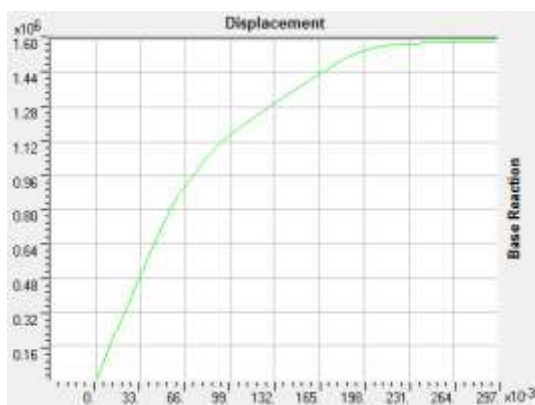
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Kapasitas

Dari analisis *Pushover* dengan program SAP2000 didapat kurva kapasitas. Berikut ini ditampilkan kurva kapasitas masing-masing tipe struktur. Kurva yang ditampilkan hanya dalam arah x karena bangunan bersifat simetris.



Gambar 7. Kurva Kapasitas gedung akibat push-x pada gedung *non soft story*

Gambar 8. Kurva Kapasitas gedung akibat push-x pada gedung *soft first story 1*Gambar 9. Kurva Kapasitas gedung akibat push-x pada gedung *soft first story 2*

Dari grafik-grafik di atas didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Perpindahan dan gaya geser maksimum bangunan

Tipe Gedung	Perpindahan Maksimum (m)	Gaya Geser Dasar Maksimum (Kg)
<i>Non Soft Story</i>	0,340864	2.334.312,97
<i>Soft First Story 1</i>	0,295179	1.590.251,20
<i>Soft First Story 2</i>	0,261295	1.358.929,96

Batasan Simpangan antar Lantai menurut SNI 1726-2012

Pada SNI 1726-2012 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, mengisyaratkan batas simpangan antara lantai tingkat (Δ). Dengan tinggi tingkat dihitung dari dasar yaitu 40 m untuk tipe gedung *non soft story*, 42 m untuk tipe gedung *soft first story 1* dan 43 m untuk tipe gedung *soft first story 2*

$$\Delta < 0,020 h_{sx}$$

$$\sim \Delta < 0,020 h_{sx} \times 40 \text{ m}$$

$$\sim \Delta < 0,80 \text{ m untuk tipe gedung non soft story}$$

$$\sim \Delta < 0,020 h_{sx} \times 42 \text{ m}$$

$$\sim \Delta < 0,84 \text{ m untuk tipe gedung soft first story}$$

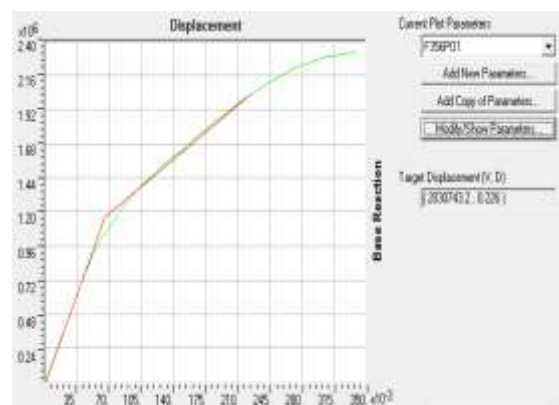
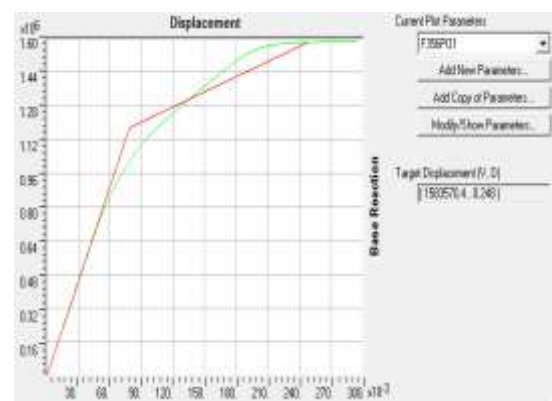
$$\sim \Delta < 0,020 h_{sx} \times 43 \text{ m}$$

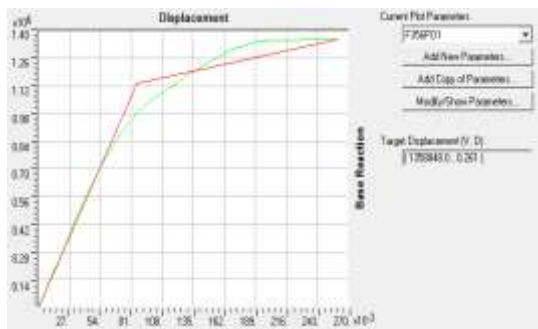
$$\sim \Delta < 0,86 \text{ m untuk tipe gedung soft first story}$$

Jadi batasan simpangan antar lantai tingkat tidak boleh melampaui 0,80 m untuk tipe gedung *non soft story*, 0,82 m untuk tipe gedung *soft first story 1* dan 0,84 m untuk tipe gedung *soft first story 2*.

Metode Koefisien Perpindahan FEMA-356

Dari program SAP2000 didapat kurva kapasitas FEMA-356. Dalam analisis ini hanya meninjau satu arah yaitu arah sumbu x karena bangunan bersifat simetris. *Performance point* didapat dari titik perpotongan antara *bilinear force curve* (garis merah) paling besar dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva kapasitas ditampilkan sebagai berikut.

Gambar 10. Kapasitas kapasitas FEMA-356 akibat push-x pada gedung *non soft story*Gambar 11. Kapasitas kapasitas FEMA-356 akibat push-x pada gedung *soft first story 1*



Gambar 12. Kapasitas kapasitas FEMA-356 akibat push-x pada gedung *soft first story 2*

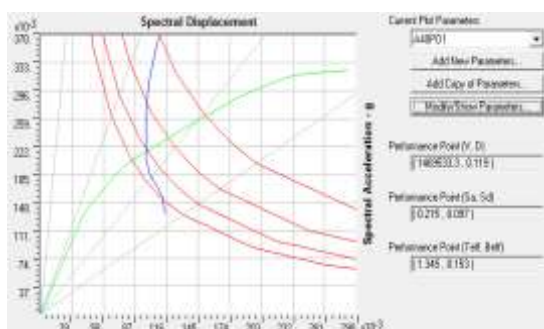
Target perpindahan dengan metode Koefisien Perpindahan setiap pemodelan ditampilkan dalam Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Target perpindahan dengan FEMA-356

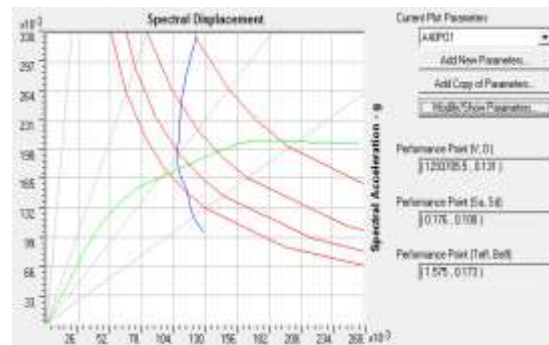
Keterangan	Tipe Gedung		
	Non Soft Story	Soft First Story 1	Soft First Story 2
C_0	1,2191	1,1704	1,1374
C_1	1	1	1
C_2	1	1	1
C_3	1	1	1
S_a	0,6315	0,5594	0,5159
T_e	1,0904	1,231	1,3348
T_1	1,0904	1,231	1,3324
K_1	17.751.123	15.015.010	13.538.977
K_e	17.751.123	15.015.010	13.288317
Alpha	0,3051	0,1604	0,0955
R	4,3874	3,8891	3,7289
V_y	1.163.797,8	1.175.184,5	1.136.221,5
Weight	8.085.240	8.169.912	8.212.248
C_m	1	1	1
V (kg)	2.030.743,2	1.583.570,4	1.358.848,0
D, δ (m)	0,226	0,248	0,261

Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

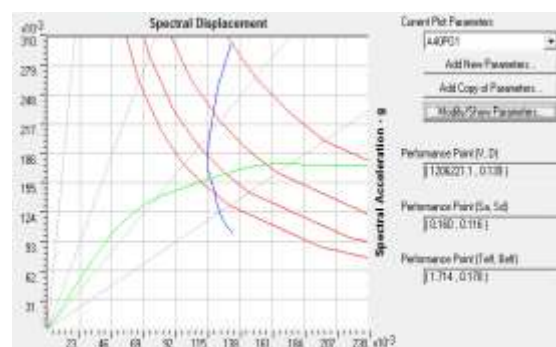
Dari program SAP2000 juga didapat kurva spektrum kapasitas. Dalam analisis ini hanya meninjau satu arah yaitu arah sumbu x karena bangunan bersifat simetris. *Performance point* didapat dari titik perpotongan antara *demand spectra* (garis biru) dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva spektrum kapasitas ditampilkan sebagai berikut



Gambar 13. Spektrum Kapasitas akibat push x pada gedung *non soft story*



Gambar 14. Spektrum Kapasitas akibat push-x pada gedung *soft first story 1*



Gambar 15. Spektrum Kapasitas akibat push-x pada gedung *soft first story 2*

Target perpindahan dengan metode Spektrum Kapasitas setiap pemodelan ditampilkan dalam Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Target perpindahan dengan ATC-40

Performance Point	Tipe Gedung		
	Non Soft Story	Soft First Story 1	Soft First Story 2
V (Kg)	1.469.533,3	1.293.705,5	1.206.221,1
D, δ (m)	0,119	0,131	0,139
S_a (g)	0,215	0,176	0,160
S_d (m)	0,097	0,108	0,116
T_{eff} (det)	1,345	1,575	1,714
B_{eff} (%)	0,153	0,173	0,178

Level Kinerja

Menurut ATC-40 batasan ratio drift adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Batas deformasi bangunan gedung

Tingkat Kinerja				
Interstory Drift Limit (Batas Simpangan Antar Lantai)	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum Total Drift (Simpangan Total Maksimum)	0,01	0,01 – 0,02	0,02	ViPi
Maximum Inelastic Drift (Simpangan Nonelastik Maksimum)	0,005	0,005 – 0,015	No Limit	No Limit

Kinerja gedung berdasarkan target perpindahan Metode Koefisien Perpindahan :

- $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H}$
- $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
- a. Tipe Gedung *Non Soft Story*
 $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H} = \frac{0,226}{40} = 0,00565\ m$
 $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
 $= \frac{0,226-0,010}{40} = 0,0054\ m$
 Sehingga level kinerja bangunan adalah **Damage Control**

- b. Tipe Gedung *Soft First Story 1*
 $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H} = \frac{0,248}{42} = 0,0059\ m$
 $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
 $= \frac{0,248-0,010}{42} = 0,00564\ m$
 Sehingga level kinerja bangunan adalah **Damage Control**

- c. Tipe Gedung *Soft First Story 2*
 $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H} = \frac{0,261}{43} = 0,0061\ m$
 $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
 $= \frac{0,261-0,010}{43} = 0,00584\ m$
 Sehingga level kinerja bangunan adalah **Damage Control**

Kinerja gedung berdasarkan target perpindahan Metode Spektrum Kapasitas :

- a. Tipe Gedung *Non Soft Story*
 $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H} = \frac{0,119}{40} = 0,002975\ m$
 $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
 $= \frac{0,119-0,010}{40} = 0,002725\ m$
 Sehingga level kinerja bangunan adalah **Immediate Occupancy**

- b. Tipe Gedung *Soft First Story 1*
 $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H} = \frac{0,131}{42} = 0,00312\ m$
 $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
 $= \frac{0,131-0,010}{42} = 0,00288\ m$
 Sehingga level kinerja bangunan adalah **Immediate Occupancy**

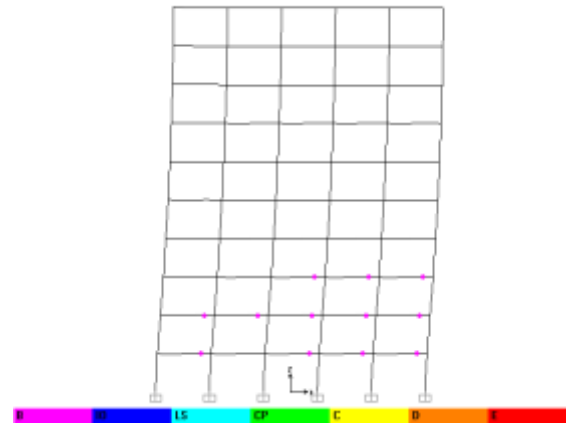
- c. Tipe Gedung *Soft First Story 2*
 $Maximum\ Drift = \frac{Dt}{H} = \frac{0,139}{43} = 0,0032\ m$
 $Maximum\ Inelastic\ Drift = \frac{Dt-D1}{H}$
 $= \frac{0,139-0,010}{43} = 0,003\ m$
 Sehingga level kinerja bangunan adalah **Immediate Occupancy**

Mekanisme Sendi Plastis

Pada mekanisme sendi plastis ini akan ditampilkan gambar pola distribusi sendi plastis, yang diambil pada portal eksternal yang menjadi model dalam penampilan sendi plastis. Gambar yang ditampilkan yaitu pada berbagai kondisi level kinerja pada arah x karena bangunan bersifat simetris.

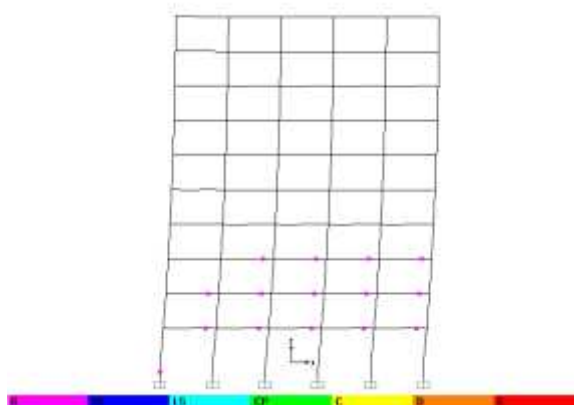
Tipe Gedung *Non Soft Story*

Pada bangunan ini, portal yang diambil adalah portal 1 yang merupakan portal eksternal dimana merupakan lokasi titik kontrol pada *case push-x*. Pelelehan sendi plastis pertama kali terjadi pada balok pada *step* ke 5 seperti yang ditunjukkan pada gambar 16. Pada *step* ke 5 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,04 m dan gaya geser dasar sebesar 710 ton.



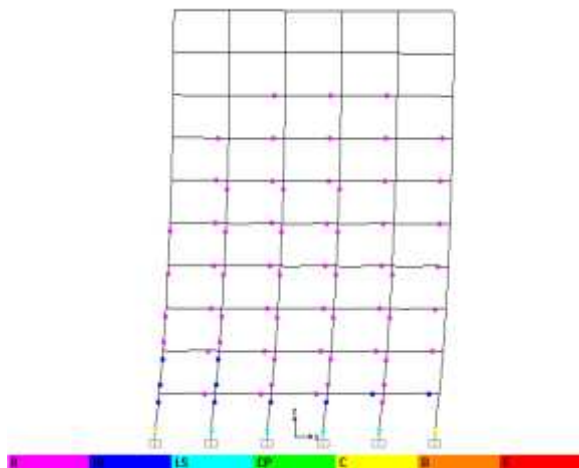
Gambar 16. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Non Soft Story* pada portal 1 arah x pada *step* ke 5

Pada gambar 17 ditunjukkan pelelehan sendi plastis pertama kali terjadi pada kolom bangunan yaitu pada *step* ke 6. Pada *step* ke 6 ini besar perpindahan adalah 0,06 m dan gaya geser dasar 1004 ton



Gambar 17. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Non Soft Story* pada portal 1 arah x pada *step* ke 6

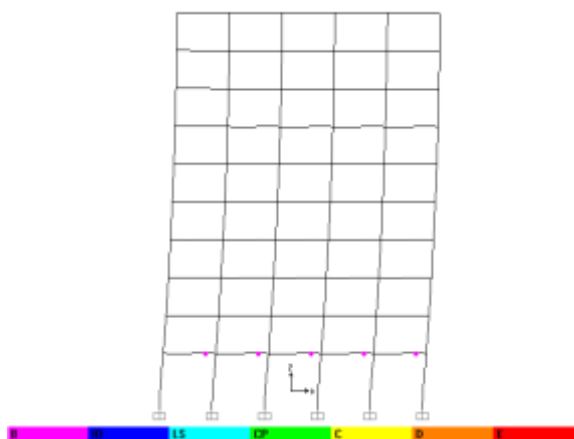
Pada gambar 18 ditunjukkan distribusi sendi plastis pada *step* ke 30 yang merupakan kondisi maksimum. Pada *step* ke 30 ini besar perpindahan adalah 0,34 m dan gaya geser dasar 2334 ton.



Gambar 18. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Non Soft First Story* pada portal 1 arah x pada *step* ke 30

Tipe Gedung *Soft First Story 1*

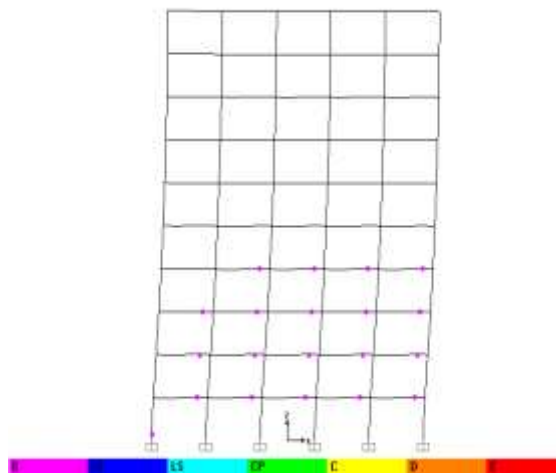
Pada bangunan ini, portal yang diambil adalah portal 1 yang merupakan portal eksternal dimana merupakan lokasi titik kontrol pada *case Push X*. Pelelehan sendi plastis pertama kali terjadi pada balok pada *step* ke 5 seperti yang ditunjukkan pada gambar 19. Pada *step* ke 5 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,05 m dan gaya geser dasar sebesar 746 ton.



Gambar 19. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Soft First Story 1* pada portal 1 arah x pada *step* ke 5

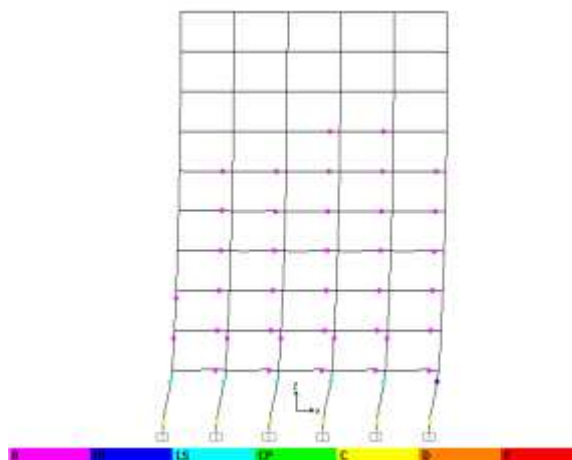
Pada gambar 20 ditunjukan pelelehan sendi plastis pertama kali terjadi pada kolom bangunan yaitu pada *step* ke 6. Pada *step* ke 6 ini besar

perpindahan adalah 0,06 m dan gaya geser dasar 865 ton



Gambar 20. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Soft First Story 1* pada portal 1 arah x pada *step* ke 6

Pada gambar 21 ditunjukan distribusi sendi plastis pada *step* ke 24 yang merupakan kondisi maksimum. Pada *step* ke 24 ini besar perpindahan adalah 0,295 m dan gaya geser dasar 1.590 ton.



Gambar 21. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Soft First Story 1* pada portal 1 arah x pada *step* ke 24

Tipe Gedung *Soft First Story 2*

Pada bangunan ini, portal yang diambil adalah portal 1 yang merupakan portal eksternal dimana merupakan lokasi titik kontrol pada *case Push X*. Pelelehan sendi plastis pertama kali terjadi pada balok pada *step* ke 5 seperti yang ditunjukkan pada gambar 22. Pada *step* ke 5 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,054 m dan gaya geser dasar sebesar 718 ton.

PENUTUP

Kesimpulan

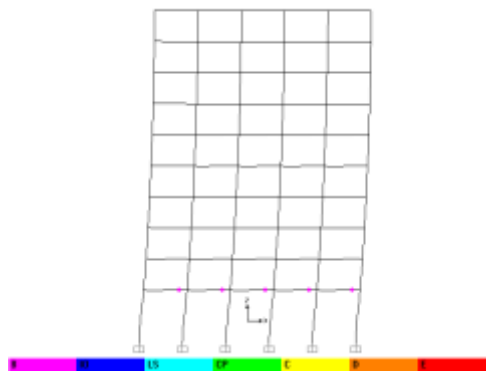
Dari hasil analisis dan pembahasan terhadap 3 tipe bangunan yaitu bangunan *Non Soft Story*, *Soft First Story 1*, *Soft First Story 2*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya geser maksimum terjadi pada gedung *Non Soft Story* yaitu sebesar 2.334 ton. Gaya geser terkecil terjadi pada gedung *Soft First Story 2* yaitu sebesar 1.359 ton. Sedangkan simpangan maksimum terjadi pada gedung *Non Soft Story* yaitu sebesar 0,34 m dan yang paling kecil pada gedung *Soft First Story 2* yaitu sebesar 0,26 m.
2. Simpangan maksimum yang terjadi sebelum keruntuhan pada setiap bangunan memenuhi syarat yang diberlakukan oleh SNI 1726-2012.
3. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 menunjukkan bahwa pada ketiga model bangunan tersebut berada pada level *Damage Control* dimana kondisi gedung belum mengalami kerusakan berarti dan dapat difungsikan kembali.
4. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Spektrum Kapasitas ATC-40 menunjukkan bahwa ketiga model bangunan tersebut berada pada level *Immediate Occupancy* dimana kondisi gedung hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan dapat digunakan kembali.
5. Distribusi sendi plastis sesuai yang diharapkan, yaitu sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah, karena terjadi keruntuhan pada balok dulu kemudian diikuti pada kolom.

Saran

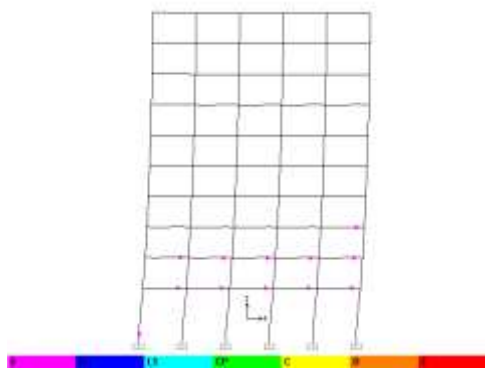
Dari penelitian di atas, penulis mempunyai beberapa saran bila dilakukan penelitian dimasa depan sebagai berikut :

1. Pemahaman terhadap *performance based design* sangat diperlukan dalam disain dan evaluasi kinerja struktur bangunan modern dewasa ini.
2. Masalah *soft first story* pada bangunan merupakan persoalan yang perlu dipelajari dengan baik untuk menghindari keruntuhan struktur, yang secara otomatis akan mengurangi korban jiwa maupun kerugian material



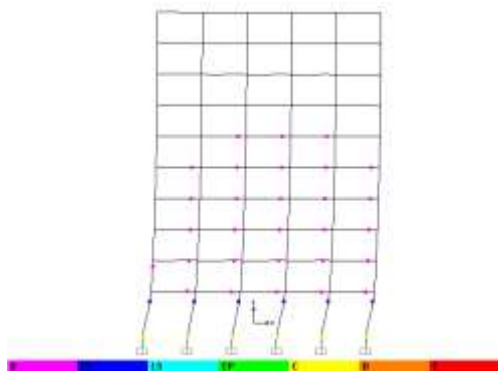
Gambar 22. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Soft First Story 2* pada portal 1 arah X pada step ke 5

Pada gambar 23 ditunjukkan pelelehan sendi plastis pertama kali terjadi pada kolom bangunan yaitu pada step ke 7. Pada step ke 7 ini besar perpindahan adalah 0,065 m dan gaya geser dasar 825 ton.



Gambar 23. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Soft First Story 2* pada portal 1 arah x pada step ke 6

Pada gambar 23 ditunjukkan distribusi sendi plastis pada step ke 24 yang merupakan kondisi maksimum. Pada step ke 24 ini besar perpindahan adalah 0,26 m dan gaya geser dasar 1.358 ton.



Gambar 24. Distribusi Sendi Plastis Tipe Bangunan *Soft First Story 2* pada portal 1 arah X pada step ke 24

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, N. Rachmad. 2010. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP2000*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Anonim, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1*, Applied Technology Council, California.
- ASCE, 2000. *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency 356. Washinton,DC.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012)*. Bandung.
- Budiono, B. 2011. *Konsep SNI Gempa 1726:201x*. Seminar HAKI
- CSI, 2013. *Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE, CsiBridge*. Berkeley. California USA.
- Dewobroto, W. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jurusan Teknik Sipil - Universitas Pelita Harapan. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1. Hal 8-10.
- Dewobroto, W. 2013. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000*. Karawaci: Dapur Buku.
- Ginsar, I.M. Lumantarna, B. *Seismic Performance Evaluation Of building With Pushover Analysis*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Nt, Suyono. 2007. *Rangkuman Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*.
- P. Anindityo Budi, 2011. *Evaluasi Kinerja Seismik Stuktur Beton Dengan Analisis Pushover Prosedur A Menggunakan Program ETABS v 9.50*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Pranata, Y.A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan gempa dengan Pushover Analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, januari 2006.
- Sumarwan. 2010. *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Tahan Gempa Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software SAP2000*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Sebelas Maret, Surakarta.
- Yanto, Dwi. 2010. *Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode Spectrum Kapasitas*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.